

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“COMPARACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD,
FRAGMENTACIÓN Y COSTOS DEL SISTEMA DE INICIACIÓN
ELECTRÓNICA VERSUS PIROTÉCNICA EN VOLADURA-
MINERA YANACocha S.R.L”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Breidy Margot Cueva Chuquilín
Irma Lilia Herrera Saldaña

Asesor:

Ing. Yuling Indira Quispe Aronés

Cajamarca - Perú

2018



Tabla de contenidos

| | |
|---|-----------|
| ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS | 2 |
| ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS | 3 |
| DEDICATORIA | 4 |
| AGRADECIMIENTO | 5 |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | 8 |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | 9 |
| RESUMEN..... | 10 |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN | 11 |
| 1.1. Realidad problemática | 11 |
| 1.2. Formulación del problema | 65 |
| 1.3. Objetivos | 65 |
| 1.3.1. <i>Objetivo general</i> | 65 |
| 1.3.2. <i>Objetivos específicos</i> | 65 |
| 1.4. Hipótesis | 66 |
| 1.4.1. <i>Hipótesis general</i> | 66 |
| 1.4.2. <i>Hipótesis específicas</i> | 66 |
| CAPÍTULO II. METODOLOGÍA | 67 |
| 2.1. Tipo de investigación | 67 |
| 2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos) | 67 |
| 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos | 68 |
| 2.3.1. <i>Técnicas</i> | 68 |
| 2.3.2. <i>Instrumento de recolección y análisis de datos.</i> | 71 |
| 2.4. Procedimiento..... | 73 |
| CAPÍTULO III. RESULTADOS | 78 |
| 3.1. Productividad | 78 |
| 3.2. Fragmentación. | 79 |
| 3.3. Costos | 86 |

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES | 101 |
| 4.1. Discusión | 101 |
| 4.2 Conclusiones | 102 |
| RECOMENDACIONES | 104 |
| REFERENCIAS | 105 |
| ANEXOS | 108 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-----------------|--|-----------|
| <i>Tabla 1</i> | <i>Datos de los sistemas de iniciación.....</i> | <i>13</i> |
| <i>Tabla 2</i> | <i>Comparación de la velocidad de excavación por equipo de carguío y por material.....</i> | <i>14</i> |
| <i>Tabla 3</i> | <i>Costos por metro lineal, sistemas de iniciación, mixto vs sistema convencional.....</i> | <i>16</i> |
| <i>Tabla 4</i> | <i>Tiempos en función al Burden y tipo de roca</i> | <i>38</i> |
| <i>Tabla 5</i> | <i>Aspectos positivos y negativos de la calidad de una voladura</i> | <i>39</i> |
| <i>Tabla 6</i> | <i>Ventajas y desventajas del sistema electrónico</i> | <i>55</i> |
| <i>Tabla 7</i> | <i>Ventajas y desventajas del sistema pirotécnico</i> | <i>57</i> |
| <i>Tabla 8</i> | <i>Criterio del macizo rocoso</i> | <i>61</i> |
| <i>Tabla 9</i> | <i>Norma Alemana DIN4150</i> | <i>63</i> |
| <i>Tabla 10</i> | <i>Norma USBM 8507</i> | <i>64</i> |
| <i>Tabla 11</i> | <i>Normativa peruana de vibraciones</i> | <i>64</i> |
| <i>Tabla 13</i> | <i>Criterios de daño del macizo rocoso</i> | <i>69</i> |
| <i>Tabla 14</i> | <i>Criterios de daño del macizo rocoso</i> | <i>69</i> |
| <i>Tabla 15</i> | <i>Promedio de la productividad de la pala del S. Electrónico vs S. Pirotécnico</i> | <i>78</i> |
| <i>Tabla 16</i> | <i>Tipo de alteración según tajo</i> | <i>80</i> |
| <i>Tabla 17</i> | <i>Comparativo de análisis de fragmentación del S. Pirotécnico Vs S. Electrónico.....</i> | <i>85</i> |
| <i>Tabla 18</i> | <i>Costos unitarios.....</i> | <i>86</i> |
| <i>Tabla 19</i> | <i>Cuadro comparativo de costos según el número de taladros para sistema de iniciación electrónica Vs sistema de iniciación pirotécnica 2017.....</i> | <i>87</i> |
| <i>Tabla 20</i> | <i>Características de voladura- NV 3456.....</i> | <i>89</i> |
| <i>Tabla 21</i> | <i>Características de voladura- NV 3456.....</i> | <i>90</i> |
| <i>Tabla 22</i> | <i>Características de voladura- NV 3456.....</i> | <i>90</i> |
| <i>Tabla 23</i> | <i>Características de voladura- NV 3456.....</i> | <i>91</i> |
| <i>Tabla 24</i> | <i>Características de voladura- NV 3444.....</i> | <i>92</i> |
| <i>Tabla 25</i> | <i>Características de voladura- NV 3444.....</i> | <i>93</i> |
| <i>Tabla 26</i> | <i>Características de voladura- NV 3444.....</i> | <i>94</i> |
| <i>Tabla 27</i> | <i>Características de voladura- NV 3444.....</i> | <i>95</i> |
| <i>Tabla 28</i> | <i>Resumen de monitoreo del VPP en cabana, canal y Vivienda.....</i> | <i>96</i> |
| <i>Tabla 29</i> | <i>Resumen de dispersiones</i> | <i>97</i> |
| <i>Tabla 30</i> | <i>Dispersión de retardo</i> | <i>98</i> |
| <i>Tabla 31</i> | <i>Comparación de los resultados de la productividad y costos del Sistema de iniciación electrónica e iniciación pirotécnica en la Minera Yanacocha, 2017.....</i> | <i>99</i> |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----------|
| <i>Figura 1. Ubicación</i> | <i>20</i> |
| <i>Figura 2. Sección de Alteraciones.....</i> | <i>22</i> |
| <i>Figura 3. Sección de Alteraciones Típicas de Yanacocha</i> | <i>23</i> |
| <i>Figura 4. Mecánica de Fragmentación</i> | <i>25</i> |
| <i>Figura 5. Tres Claves Para Lograr un Rendimiento Óptimo de Explosivos.....</i> | <i>27</i> |
| <i>Figura 6. Parámetros de la voladura en banco.....</i> | <i>28</i> |
| <i>Figura 7. Indicaciones Geométricas de un Taladro</i> | <i>31</i> |
| <i>Figura 8. Profundidad /Distancia Escala (SD)</i> | <i>32</i> |
| <i>Figura 9. Fases de Mecánica de Rocas de un Taladro</i> | <i>43</i> |
| <i>Figura 10. Partes de Detonador Electrónico</i> | <i>44</i> |
| <i>Figura 11. Iniciador de Línea.....</i> | <i>45</i> |
| <i>Figura 12. Tagger.....</i> | <i>46</i> |
| <i>Figura 13. Bench Box.....</i> | <i>47</i> |
| <i>Figura 14. Bloque de conexión.....</i> | <i>48</i> |
| <i>Figura 15. Cables extensores.....</i> | <i>50</i> |
| <i>Figura 16. Cable de Disparo.....</i> | <i>51</i> |
| <i>Figura 17. Booster.....</i> | <i>52</i> |
| <i>Figura 18. Partes de detonador pirotécnico.</i> | <i>53</i> |
| <i>Figura 19. Descripción del Sistema de Iniciación</i> | <i>53</i> |
| <i>Figura 20. Tubo de Choque</i> | <i>54</i> |
| <i>Figura 21. Características del Tubo de Choque.....</i> | <i>54</i> |
| <i>Figura 22. Tipos de Ondas.....</i> | <i>59</i> |
| <i>Figura 23. Procedimiento de Análisis de Datos para Obtener la Tasa de Excavación.....</i> | <i>71</i> |
| <i>Figura 24. Procedimiento de Análisis de Datos para Obtener los Resultados de</i> | <i>72</i> |
| <i>Figura 25. Análisis de Fragmentación –Sistema Pirotécnico</i> | <i>81</i> |
| <i>Figura 26. Análisis de Fragmentación –Sistema Pirotécnico</i> | <i>82</i> |
| <i>Figura 27. Análisis de Fragmentación –Sistema Electrónico</i> | <i>83</i> |
| <i>Figura 28. Análisis de Fragmentación –Sistema Electrónico</i> | <i>84</i> |

RESUMEN

Hoy en día uno de los desafíos que enfrenta la minería moderna es el control de vibraciones, fragmentación del material y la variación de costos en voladura; la calidad de disparo tiene una influencia significativa en la etapa de extracción del material; la presente investigación tiene como objetivo determinar que sistema de iniciación es el más eficiente dando mejores resultados de fragmentación con un menor costo.

La metodología aplicada en esta investigación muestra la comparación del sistema de iniciación pirotécnica versus sistema de iniciación electrónica, para el análisis de fragmentación, productividad y costos se tomaron datos del tajo Tapado Oeste y del tajo Yanacocha; información que permite determinar la efectividad del sistema de voladura.

La voladura con detonadores electrónicos dio mejores resultados que con pirotécnicos, el P80 con detonadores pirotécnicos fue 3.9" y con detonadores electrónico fue 3.34" con el cual se obtuvo una mejora de un 14.6% ; la productividad de pala con detonadores pirotécnicos es 2982,37 Tm/H y con detonadores electrónicos es 3323.27 Tm/H; con una mejora de 11.4% en productividad; el costo por unidad de detonadores pirotécnicos es menor que el costo del detonador electrónico, obteniendo mejor productividad y fragmentación; optimizando procesos posteriores de chancado y molienda.

Palabras clave: Sistema electrónico, sistema pirotécnico, fragmentación, productividad, Optimización de costos.

NOTA DE ACCESO

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales

REFERENCIAS

- Baldeon Quispe, Z. L. (2011). *Gestion En Las Operaciones De Transporte Y Acarreo Para El Incremento De La Productividad En Minera Condestable S.A. (tesis de Pregrado).universidad PUCP*. Lima-Perú.
- Berguer , E. (2009). Tecnología y seguridad ala mano . *Minería chilena*, 5.
- Bernaola A, J., Castilla G, J., & Herrera H , J. (2013). *Perforación y Voladura de Rocas*. Madrid, España.
- Chávez Barrientos, L. A. (2005). *Uso Y Control De Explosivos Aplicados En Explotación De Bancos De Material.(Tesis Pregrado). Universidad san Carlos de Guatemala*. Guatemala.
- CHIAPPETTA, F. (2014). "New Innovative Blasting Techniques to Improve Fragmentation, Final Highwalls and Plant Throughput. Pennsylvania-USA.
- EXSA SOLUCIONES. S.A. (2013). *Manual Práctico de Voladura*.
- Gaona Gonzales , A. J. (2015). *Optimización de la voladura ,Mina la Virgen -de la Compañía Minera San Simón- Huamachuco Trujillo(Tesis de pregrado). Piura :* Universidad Nacional de Piura .
- GIRALDO, F. (2010). *CONTROL DE VIBRACIONES PARA CASAS DE TIERRA EN PERU*. Lima, Perú: (Tesis de Título Profesional),Universidad Nacional de Ingeniería.
- Giraldo, F. (2010). *Control de Vibraciones para Casas de Tierra en Perú.(Tesis de Pregrado).UNI*. Lima-Perú.
- Hinostroza Sierra, J. R. (2014). *Optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicación de la doble iniciación electrónica en la explotación de cobre porfirítico a*

- pregrado*). Universidad Nacional Mayor DE San Marcos. Lima, Perú.
- Huamán, B. A. (2010). *Implementación De Un Nuevo Sistema De Iniciacion Electrónica En Peru - Seguridad Y Versatilidad*”. Lima-Perú.
- INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO DE ESPAÑA. (1994). *Manual de Voladura Rocas*. España.
- Instituto Tecnológico Geo Minero de España . (1991). *Manual de Perforación y Voladura* . Madrid -España .
- Kenzie, M. (1994). *Estado del Arte de la Tronadura*. Santiago de Chile .
- Legorburo, V., & Sánchez , L. (S.f). *Evolución de los Explosivos Industriales*.
- Leiva Torres , A. (2007). *Influencia de la Optimización de la Fragmentación de Roca en la Rentabilidad de las operaciones Mina- Molienda. (Tesis de Pregrado)*. Pontifice Universidad católica del Perú, Perú.
- Mancera, O. A., Serrano, O. A., & Guerrero Paez, A. (2011). Comparación entre el sistema de iniciación nonel y electrónico en las voladuras y su efecto en la fragmentación, forma de la pila costos de producción y vibraciones . pág. 17.
- McKenzie. (1994). *Estado del Arte de la Tronadura*. Santiago de Chile .
- Miranda S, Y. (2009). *Estudio del rendimiento entre detonadores electrónicos y no eléctricos e implicancia en la economía del proceso y seguridad en tajo abierto.(tesis de pregrado)*. . Lima-perú.
- Poma F, J. (2012). *Importancia de la fragmentación de la roca en el proceso Gold Mill Caso Minera Yanacocha- (Tesis de pregrado)*. PUCP. Lima- Perú.
- Poma Fernández , J. L. (2016). *Importancia de la Fragmentación de la roca en el proceso Gold Mill(Tesis de Pregrado)*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima .

P. (2013). *Voladura con sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico en la profundización del pique N°2, mina teresita*(Tesis Pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica. . Huancavelica- Perú.

Romero Paucar , R. (2016). “*Voladura con Detonadores Electrónicos para Optimizar la Fragmentación y Seguridad en el Tajo Toromocho- Minera Chinalco Perú S.A.*(Tesis de Pregrado) . Huancayo. Perú .

Torres, F. (2011). *Aplicación Sistema Electrónico En Voladuras De Avance Subterráneo- Minera Suyamarca*. Lima- Perú.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID . (2013). *Perforación y Voladura de Rocas*. ESPAÑA.